Thyristoren

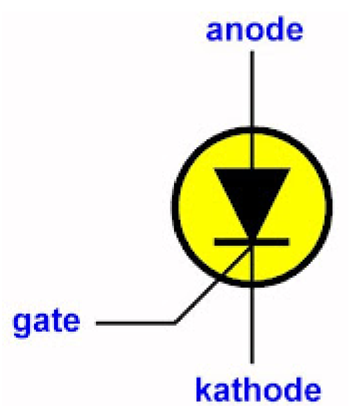
De thyristor is een ideaal onderdeel voor het schakelen van wisselspanningen. Het gedrag van het onderdeel vertoont overeenkomsten met dat van het aloude thyratron (een gasontladingsbuis) maar het is opgebouwd uit een halfgeleiderstructuur.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 25-08-2018

De werking van een thyristor

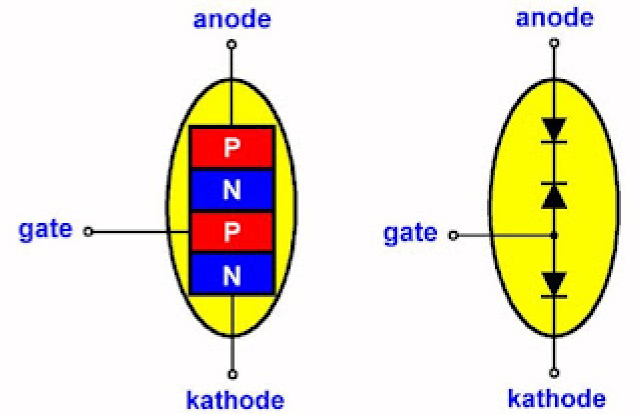
De naam van het onderdeel
Thyristoren zult u in de vakliteratuur ook aantreffen onder de naam '*SCR*' (Silicon Controlled Rectifier) en '*bestuurbare silicium gelijkrichter*'. Deze laatste Nederlandstalige benaming is een directe vertaling van SCR. De benaming zegt bovendien al iets over de werking.

Het symbool
Het meest gangbare symbool voor een thyristor is weergegeven in onderstaande figuur. Onmiddellijk valt de sterke overeenkomst op met het diodesymbool. Er is, evenals bij de diode, een anode en een kathode aanwezig. Het enige nieuwe en daarmee ook het wezenlijke verschil is de derde aansluiting, de gate, of in het Nederlands de poort. Deze gate maakt het mogelijk de thyristor te besturen. Met behulp van de gate kunt u de thyristor namelijk in geleiding brengen. Men noemt dat '*het ontsteken van de thyristor*'. Het onderdeel gaat dan stroom geleiden tussen de kathode en de anode en wel in richting van de symboolpijl. Eenmaal in geleiding kunt u de halfgeleider via de gate niet meer naar sper sturen. Dit sperren kan, afhankelijk van de toepassing, op verschillende andere manieren gebeuren, maar daarover later meer.



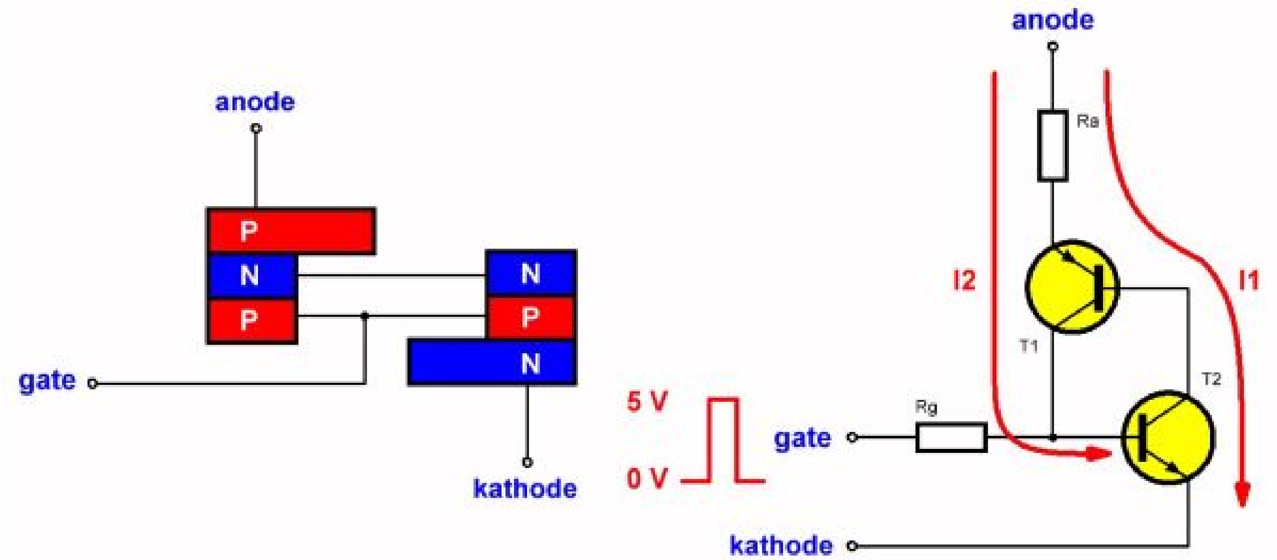
Het symbool van de thyristor. (© 2018 Jos Verstraten)

De samenstelling van een thyristor
De thyristor heeft een voor dit soort onderdelen karakteristieke vierlagen structuur, getekend in onderstaande figuur links. Omdat er tussen de vier lagen drie PN-overgangen bestaan, kunt u zich de structuur ook voorstellen als drie in serie geschakelde dioden, zie rechter figuur.



De samenstelling van een thyristor. (© 2018 Jos Verstraten)

De werking van de thyristor
Deze figuren zullen u weinig inzicht geven in de werking van de thyristor. Hiervoor is het nodig een kunstgreep toe te passen. Voor de verklaring van de werking is onderstaande linker figuur van groot belang. De vierlagen structuur uit de vorige figuur is in tweeën gesplitst door de beide middelste lagen verticaal doormidden te delen. Deze doormidden gesneden delen zijn via draden met elkaar verbonden, waardoor er dus in feite niets is veranderd. Een nadere beschouwing van deze figuur leert echter dat er nu een tweetal drielagen structuren zijn ontstaan en wel een PNP- en een NPN-structuur. De twee delen stellen niets anders voor dan twee transistoren, een PNP-transistor links en een NPN-transistor rechts. Bij de verklaring van de werking moet u bedenken dat een thyristor, net als een gewone diode, alleen stroom kan doorlaten in de richting van de anode naar de kathode. De stroomrichting wordt dan ook aangegeven door de richting van de emitterpijlen in de rechter figuur.



Het ontsteken van een thyristor. (© 2018 Jos Verstraten)

Het ontsteken van de thyristor
Stel dat de anode een spanning voert die positief is ten opzichte van de kathode en dat de gate eenzelfde spanning voert als de kathode. In dat geval staat de thyristor in sper. Op een gegeven moment verhoogt u echter de ingangsspanning plotseling tot 5 V. Door deze spanning gaat de basis/emitter-diode van T2 open, waardoor er een basisstroom via Rg in T2 gaan lopen. Maar deze halfgeleider T2 is een transistor en bezit dus een bepaalde versterkingsfactor. Er zal een versterkte (grotere) stroom van de collector naar de emitter van T2 gaan lopen. De collector van T2 is echter verbonden met de basis van T1. Dit impliceert dat de collectorstroom I_1 van T2 door de basis van T1 moet worden geleverd. Als T1 een basisstroom ontvangt, dan zal deze stroom ook versterkt door de collector van T1 vloeien. I_2, op zijn beurt, kan alleen door de basis van T2 weg en levert dus ook een bijdrage aan de basisstroom van T2.
De stromen I_1 en I_2 versterker elkaar en veroorzaken binnen de kortst mogelijke tijd (doorgaans een paar microseconde) een soort van lawine-effect, waardoor zowel T1 als T2

tot het uiterste worden open gestuurd. De totale weerstand tussen anode en kathode daalt tot een zeer lage waarde (minder dan 1 Ω bij stromen boven 1 A) en de thyristorstroom wordt vrijwel uitsluitend begrensd door de weerstand Ra in de anodeleiding. Deze weerstand moet u dus zo kiezen dat de maximale thyristorstroom, zoals die door de fabrikant is opgegeven, niet wordt overschreden.

De sturing op de gate valt weg
Nadat u de thyristor door de +5 V impuls op de gate helemaal in geleiding hebt gestuurd, verkleint u de ingangsspanning weer tot 0 V. U verwacht natuurlijk dat de thyristor dan weer naar sper gaat omdat T2 in dat geval afgeknepen wordt. Op dit moment houdt de logica op, althans zo lijkt het, want de thyristor gaat absoluut niet sperren als u de gate weer op 0 V zet. Desondanks is er voor dit verschijnsel een logische verklaring. De gate-aansluiting heeft namelijk een vrij hoge ingangsweerstand, in de figuur voorgesteld door Rg. Deze weerstand is zelfs zo groot dat de stroom I_2 niet in zijn geheel via Rg kan afvloeien naar de 0 V op de ingang. Een deel van I_2 moet dus via de basis van T2 afvloeien naar de massa, met als gevolg dat T2 blijft geleiden en de thyristor dus ook in die toestand blijft.
Besluit: een positieve spanning op de gate van een thyristor zorgt ervoor dat het onderdeel ontsteekt. Ook na het wegvallen van deze ontsteekspanning blijft de thyristor geleiden.

Andere manieren waarop u een thyristor kunt ontsteken
Afgezien van de hierboven beschreven ontsteekmethode met behulp van een positief gatesignaal zijn er nog enige, in de praktijk vrij weinig toegepaste mogelijkheden om een thyristor in geleiding te brengen. Zij zullen hier alleen genoemd worden zonder een nadere verklaring van de werking, omdat ze vrij zelden worden toegepast.

- **Opvoeren van de anodespanning**
  Een thyristor kan worden ontstoken door de anodespanning ten opzichte van de kathodespanning zover op te voeren dat de maximale spanning wordt overschreden. Doordat de thyristor dan in geleiding komt, neemt de spanning erover snel af. Als de anodeweerstand (de belasting) voldoende groot is, zal de thyristor van deze handelwijze geen nadelige gevolgen ondervinden.
- **Bestraling met licht**
  Bestraling met licht kan de thyristor eveneens in geleiding brengen. Van dit principe wordt bij de foto-thyristor handig gebruik gemaakt! Uiteraard is er in de behuizing dan een lichtvenster aangebracht.
- **Hoge temperatuur**
  Een hoge temperatuur is ook in staat de thyristor te ontsteken. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door een toename van de lekstromen van T1 en T2.
- **Zeer snelle stijging van de anodespanning**
  Een zeer snelle stijging van de anodespanning kan een thyristor van sper naar geleiding sturen. Dit verschijnsel kan nogal eens aanleiding zijn tot ongewenste verschijnselen als u de thyristor toepast als motorsnelheidsregelaar. De over de spoel van de motor optredende inductiespanningen kunnen de thyristor op ongewenste momenten tot ontsteking brengen en zodoende een onregelmatige, stoterige motorloop veroorzaken.

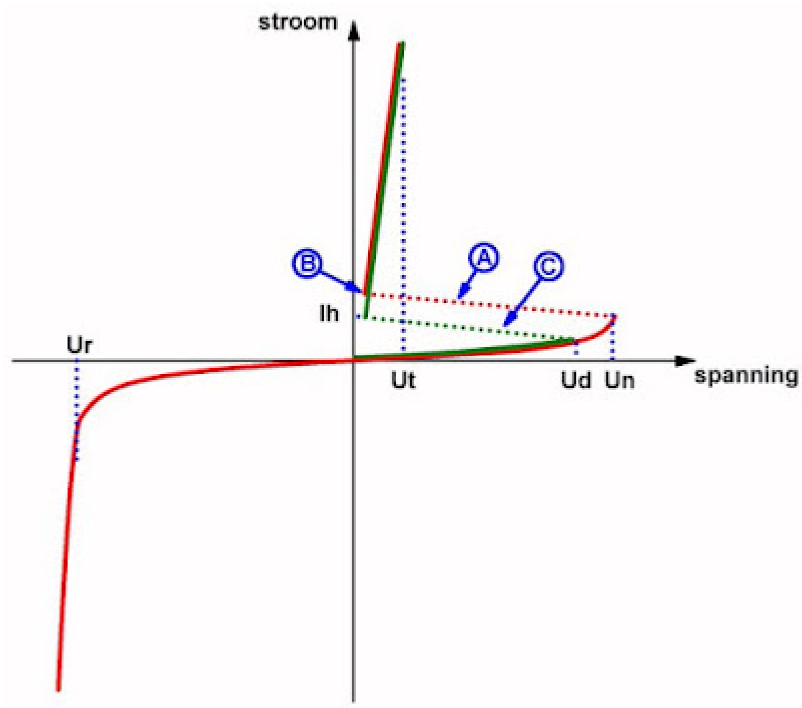
Het uitschakelen of doven van een thyristor
Zoals reeds geschreven kunt u een thyristor niet uitschakelen via een signaal op de gate. Om dit resultaat te bereiken moet u de stroom, die door de thyristor van anode naar kathode vloeit, terug brengen tot beneden een bepaalde waarde. Deze waarde heet de 'houdstroom'. Een dalen van de anodestroom onder de houdstroom heeft het onmiddellijke doven van de thyristor tot gevolg. Dat kunt u op twee manieren bereiken.

- U keert gedurende een bepaalde tijd de spanning tussen anode en kathode van de thyristor om. Bij dit omkeren zal op een gegeven moment de spanning tussen anode en kathode gelijk worden aan 0 V. Op dat moment kan er geen stroom meer van anode naar kathode lopen, de thyristor dooft.

- Een andere methode is dat u de anodeweerstand zo vergroot dat de maximale stroom van anode naar kathode beneden de houdstroom daalt. Ook in dat geval zal de thyristor doven.

Eigenschappen van thyristoren

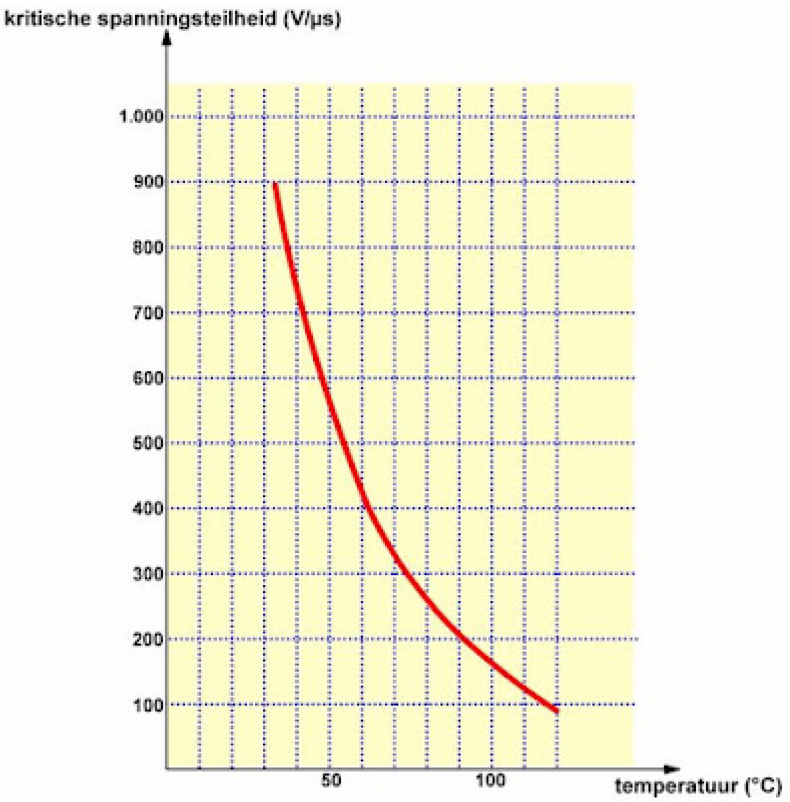
De thyristor karakteristiek
Ook een thyristor heeft uiteraard een karakteristiek, een grafiek die het kenmerkende verband geeft tussen de spanning over de thyristor en de stroom door de thyristor. Deze is getekend in onderstaande figuur. Voor negatieve spanningen gedraagt de thyristor zich op precies dezelfde manier als een gewone Si-diode. De stroom door het onderdeel is laag, gelijk aan de sperstroom, totdat de inverse spanning de doorbraakwaarde Ur bereikt. Dan neemt de stroom plotseling toe.
Legt u een positieve spanning over de thyristor (dus anode positief ten opzichte van de kathode), dan blijft de lekstroom ook laag tot de spanning de waarde Un bereikt. Op dat moment slaat de thyristor door. Het werkpunt van het onderdeel gaat opeens via de stippellijn A naar het punt B. De stroom stijgt nu heel snel en de spanning over het onderdeel valt terug tot de waarde Ut. De waarde van deze spanning ligt ergens tussen 0,6 V en 2,5 V, afhankelijk van het soort thyristor.
Zorgt een uitwendige actie er voor dat de stroom door de thyristor lager wordt dan de houdstroom Ih, dan gaat het werkpunt van het onderdeel plotseling via de stippellijn C terug naar het punt met spanning Ud. De halfgeleider spert weer.



De karakteristiek van een thyristor. (© 2018 Jos Verstraten)

De kritische spanningsteilheid ∆u/∆t
Een van de belangrijkste eigenschappen van een thyristor is dat de steilheid van de spanning die over het onderdeel staat aan een maximale waarde is gebonden. Stel dat over de thyristor een spanning van 0 V staat en dat u er opeens een spanning van 100 V over aanlegt. Niets gaat traagheidsloos in de natuur, dus ook het aanleggen van deze spanning niet. De spanning over de thyristor zal niet in een oneindig korte tijd van 0 V naar 100 V stijgen, maar zal daar een bepaalde tijd over doen. Dit noemt men de steilheid van de spanning. Bij thyristoren is het nu zo dat deze steilheid aan een maximale waarde is gekoppeld. Dit wordt uitgedrukt door de grootheid '*kritische spanningsteilheid ∆u/∆t*' en wordt in de praktijk uitgedrukt in een aantal V/µs. In de praktijk komt u waarden tegen tussen 100 V/

µs en 1.000 V/µs. Bij deze laatste waarde gaat het in de meeste gevallen over geselecteerde thyristoren uit een fabricage-serie, die van een afzonderlijke codering worden voorzien en duurder zijn.
Als de spanning over de thyristor sneller stijgt dan de aangegeven kritische waarde, is de kans groot dat het onderdeel spontaan ontsteekt, dus in geleiding komt zonder dat er signaal op de gate wordt aangelegd.
De kritische spanningsteilheid is erg afhankelijk van de temperatuur van het onderdeel. Zoals uit de grafiek van onderstaande figuur volgt, varieert deze waarde met een factor tien als de temperatuur stijgt van 30 °C naar 120 °C. Bij het ontwerpen van thyristorschakelingen moet u hier absoluut rekening mee houden!

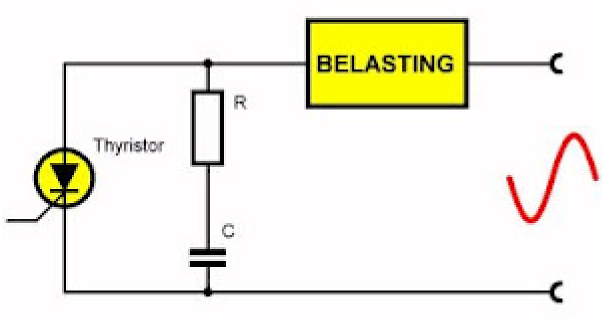


De kritische spanningsteilheid in functie van de temperatuur.
(© 2018 Jos Verstraten)

De gate sensitivity
Met deze grootheid wordt de stroom gedefinieerd die u in de gate moet sturen om er zeker van te zijn dat de thyristor ontsteekt. De gate sensitivity is meestal gekoppeld aan de maximale stroom die het onderdeel kan geleiden. Hoe groter die stroom, hoe minder gevoelig de thyristor zal zijn. Heel gevoelige thyristoren kunt u al ontsteken met een gatestroom van minder dan 100 µA.
Een kleine thyristor zoals de FS01-03 van Fagor, die slechts 0,8 A kan schakelen, heeft een gate sensitivity van 20 µA. Een BT152-400 van NXP, die 20 A kan schakelen, heeft een gate sensitivity van 32 mA.

Het snubber-netwerk
Meestal zult u thyristoren gebruiken voor het schakelen van inductieve belastingen, bijvoorbeeld motoren van boormachines, etc. Spoelen hebben echter een bepaalde zelfinductie en deze eigenschap zal zich verzetten tegen het wegvallen van de stroom door de spoel door het genereren van een tegenspanning. Deze tegenspanning (temk genoemd) komt over de thyristor te staan en kan op twee manieren schade aanrichten.
Op de eerste plaats kan deze temk zo snel opkomen dat de kritische spanningsteilheid wordt overschreden met als gevolg dat de thyristor spontaan gaat geleiden. De schakeling zal slecht werken en de toerentalregeling van de motor zal met horten en stoten verlopen.
Op de tweede plaats kan deze temk zo groot zijn dat de maximale spanning die over de thyristor mag staan wordt overschreden. Het gevolg is dat het onderdeel stuk kan gaan.

Om deze twee gevaren te bestrijden moet u over de thyristor een zogenoemd '*snubber*'-netwerk aansluiten. Dat is de serieschakeling van een kleine weerstand en een inductie-arme condensator, die er voor zorgt dat de spoel belast wordt en de waarde van de temk niet te groot kan worden en die er bovendien voor zorgt dat de steilheid van deze temk onder de kritische waarde blijft.
Het schema van een dergelijke snubber is getekend in onderstaande figuur. De snubber-onderdelen zijn hier voorgesteld door R en C.
Een goed bedoelde opmerking uit een jarenlange ontwerppraktijk: vertrouw geen thyristor-schakeling waarin geen snubber aanwezig is! De kans dat de thyristor ooit doorslaat is levensgroot aanwezig!
Voor het berekenen van de waarden van de snubber-componenten zijn ellenlange formules verzonnen, maar u kunt beter een beroep doen op de tabel die naast het schema is getekend. Hierin zijn de waarden van R en C gegeven voor een aantal spanningen die vaak worden thyristoren gebruikt voor het schakelen van inductieve belastingen.

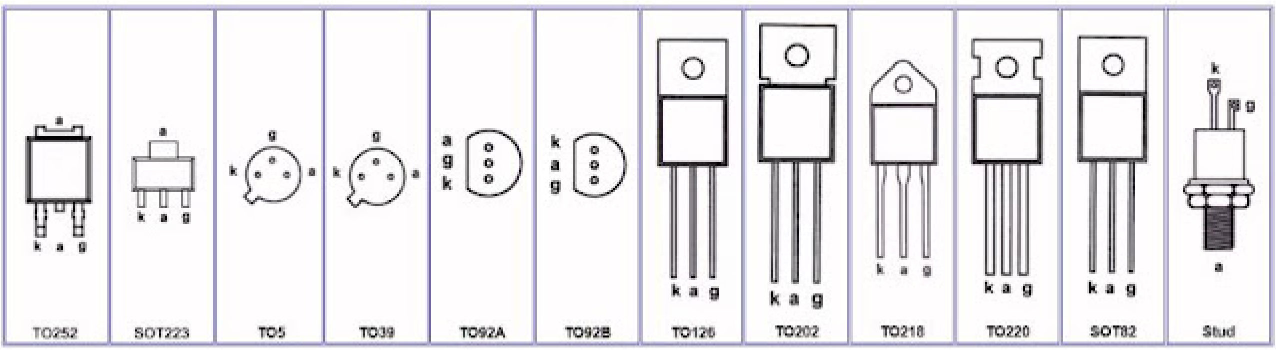


SPANNING OVER THYRISTOR	WEERSTAND	CONDENSATOR
30 V	3,3 Ω / 0,5 W	0,1 µF / 70 V
45 V	4,7 Ω / 0,5 W	0,1 µF / 90 V
60 V	6,8 Ω / 0,5 W	0,1 µF / 120 V
125 V	15 Ω / 0,5 W	0,1 µF / 190 V
220 V	27 Ω / 1 W	0,1 µF / 330 V
250 V	27 Ω / 5 W	0,33 µF / 450 V

De componenten van het snubber-netwerk. (© 2018 Jos Verstraten)

Betrouwbaar ontsteken van een thyristor bij kleine belastingen
Zoals geschreven zal, na het aanleggen van een positieve spanningspuls op de gate, de thyristor gaan geleiden en in geleiding blijven tot de stroom tussen anode en kathode onder de houdwaarde valt. Als de belasting een stroom door de thyristor opwekt die vele malen groter is dan de houdstroom, is die smalle puls op de gate een betrouwbare manier om de thyristor te ontsteken. Anders wordt het als u niet zeker weet hoe groot de belastingsstroom in de praktijk zal zijn. Dat is bijvoorbeeld het geval als u LED-lampen wilt dimmen met een thyristor. U zult vaststellen dat dit lampje heel onregelmatig gaat branden. U kunt er dan vrijwel zeker van zijn dat de thyristor in de dimmer met pulsjes worden gestuurd. De netstroom die een 4 W LED-lampje veroorzaakt bedraagt slechts 17 mA en het kan zijn dat dit gevaarlijk dicht in de buurt van de houdstroom ligt. Soms zal de thyristor dan blijven geleiden na het wegvallen van de gatepuls, maar net zo vaak zal de thyristor onmiddellijk doven.
In dergelijke gevallen is het heel verstandig de pulsvormige aansturing te vervangen door een systeem dat zo lang stroom door de gate van de thyristor stuurt als noodzakelijk is.

Thyristor behuizingen
Thyristoren worden op de markt gebracht met maximale stromen tussen 100 mA en meer dan 1.000 A. Het zal dus duidelijk zijn dat er heel wat verschillende behuizingen in omloop zijn. In onderstaande figuur is een poging ondernomen alle behuizingen samen te vatten die u, als hobby-elektronicus, kunt tegenkomen. Gelukkig houden de meeste fabrikanten zich aan de getekende k-a-g aansluitgegevens, hoewel geen 100 % garantie bestaat dat er geen thyristoren op de markt zijn, waarbij gate en kathode omgewisseld zijn. Voor de typen die met schroefdraad op een koelplaat bevestigd moeten worden is in ieder geval duidelijk dat de schroefdraad verbonden is met de anode, de dikste aansluitpen met de kathode en de dunnere aansluiting met de gate. De SOT223 en TO252 behuizingen zijn de meest gebruikte behuizingen voor SMD-thyristoren.



De bekendste behuizingen voor thyristoren. (© 2018 Jos Verstraten)

Het testen van thyristoren

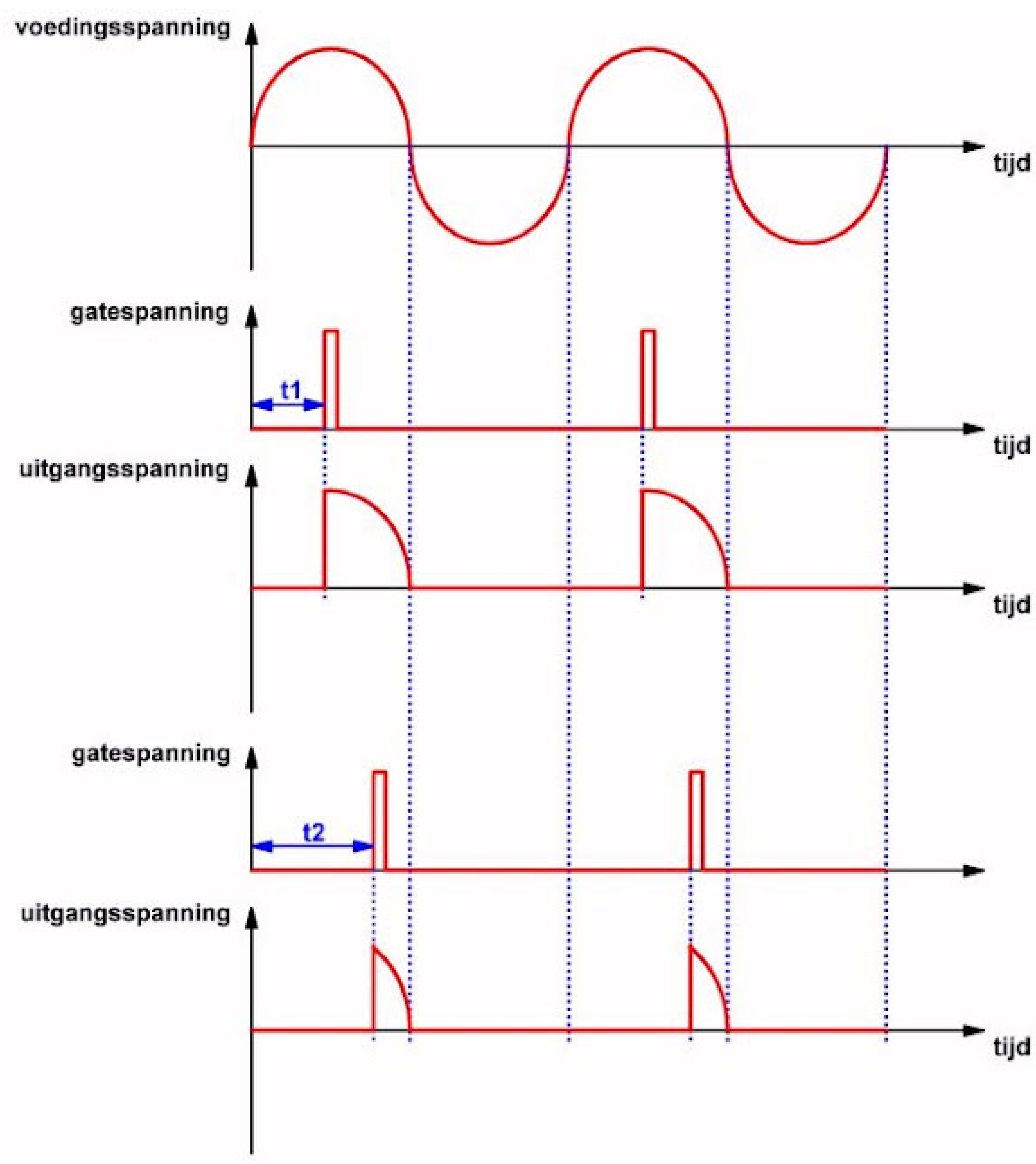
U kunt thyristoren niet testen met uw universeelmeter. Gelukkig heeft het Engelse bedrijf Peak Electronic Design een apparaatje ontwikkeld dat specifiek is ontworpen voor het testen van thyristoren en triac's. De SCR100 is een microprocessor gestuurd meetapparaat, dat via uitgekiende software in staat is thyristoren en triac's volledig automatisch te analyseren en te testen. De SCR100 is echter niet geschikt voor het testen van onderdelen in een schakeling. U moet dus eerst de halfgeleider uit de print solderen. Nadien sluit u de drie draadjes van de triac of thyristor aan op rode, groene en blauwe clips van de SCR100. Het maakt niet uit hoe u dat doet, de intelligente elektronica in de tester bepaalt later wel de juiste aansluitgegevens. Druk op de '*on-test*' drukknop. De SCR100 wordt ingeschakeld en start het analyseprogramma. De software zet spanningen op de drie clips en analyseert de spanningen op en stromen door de twee overige clips. Aan de hand van deze gegevens bepaalt de tester het soort onderdeel en de aansluitingen. Deze test duurt in de meeste gevallen maar een paar seconden. Het apparaat stuurt nadien stroompulsen van oplopende grootte in de gate en detecteert wanneer de thyristor of triac gaat geleiden. Op deze manier kan de gate sensitivity worden gemeten. De resultaten van de analyse worden op het tweeregelig display in gemakkelijk te begrijpen meldingen weergegeven. Na vijf seconden schakelt de tester zichzelf uit.



De SCR100 van Peak Electronic Design is speciaal ontworpen voor het analyseren van thyristoren. (© Peak Electronic Design)

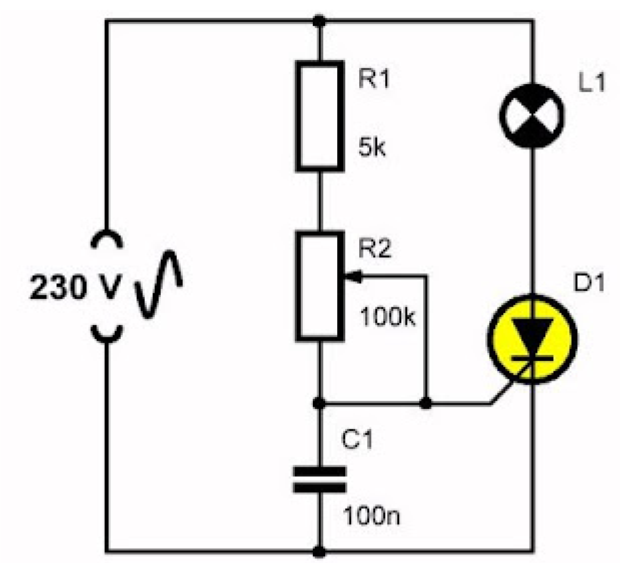
Fase-aansnij besturing

De meest gebruikte ontsteekmethode voor thyristoren
Een artikel over thyristoren kan uiteraard niet compleet zijn zonder dat de fase-aansnij besturing wordt besproken. In zeker 90 % van de schakelingen waarin u een thyristor aantreft als vermogensregelaar wordt gebruik gemaakt van deze methode voor het ontsteken van het onderdeel. Het zal u bekend zijn dat u de effectieve waarde van een wisselspanning kunt variëren tussen nul en maximum door de wisselspanning als het ware door een elektronische schakelaar te sturen die, synchroon met de halve perioden van het signaal, de wisselspanning in- en uitschakelt. Door het moment van inschakelen in de halve periode te beïnvloeden wordt een kleiner of groter deel van de halve periode aan de gebruiker aangeboden. Dat principe staat bekend onder de naam '*fase-aansnijding*' en het wordt grafisch toegelicht aan de hand van de grafieken van onderstaande figuur.
In de bovenste grafiek zijn twee periodes van een wisselspanning getekend. Dit is de voedingsspanning van de schakeling. In de tweede en derde grafiek is getekend wat er gebeurt als u een thyristor een tijdsduur t_1 na de nuldoorgang van de sinus inschakelt. Een gedeelte van de sinus wordt geblokkeerd, slechts dat deel van de positieve halve periode na moment t_1 wordt doorgekoppeld naar de verbruiker. Als u de schakelaar later in de periode sluit, bijvoorbeeld op moment t_2 in de twee onderste grafieken, dan zal een nog kleiner deel van de positieve halve periode aan de verbruiker worden aangeboden.

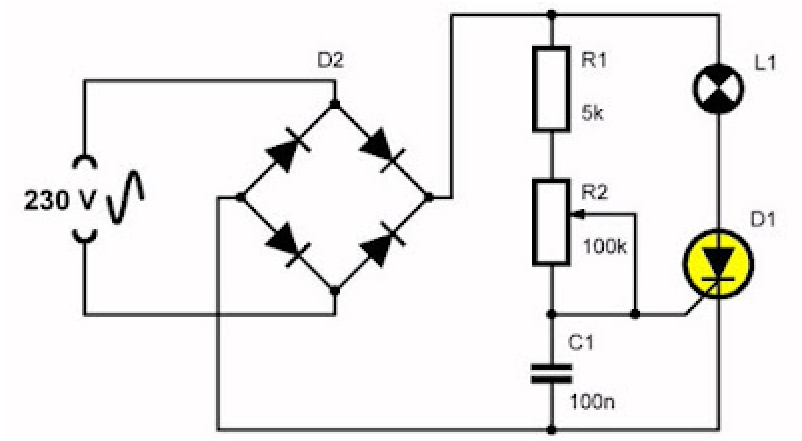


Werking van het principe
Op deze manier kunt u het vermogen dat de wisselspanning kan opwekken in een verbruiker heel soepel regelen tussen nul en een maximale waarde. Belangrijke voorwaarde is uiteraard wél dat de schakelaar weer geopend wordt bij de volgende nuldoorgang van de spanning.
Een thyristor is een ideale elektronische schakelaar voor deze toepassing. Als u over dat onderdeel een spanning zet, dan zal de thyristor sperren en dus als het ware een geopende schakelaar vormen. Zet u echter een smal pulsje op de gate, dan zal het onderdeel ontsteken en in deze toestand blijven totdat de stroom door de thyristor tot onder de houdwaarde daalt. De thyristor is dan te vergelijken met een gesloten schakelaar met een zeer kleine inwendige weerstand. Door de fysische eigenschap dat de thyristor uit zichzelf naar sper gaat als de stroom onder de houdwaarde valt hoeft u geen maatregelen te treffen om het onderdeel precies op de nuldoorgang van de sinus naar sper te sturen. Bij de nuldoorgang is de wisselspanning immers even nul en zal er ook geen stroom door de kring vloeien. De stroom door de thyristor valt dus onder de houdwaarde en het onderdeel dooft vanzelf.
Het enige dat u dus moet doen om een universeel bruikbare thyristor vermogensregeling te ontwerpen is een schakeling verzinnen die smalle pulsjes genereert die gesynchroniseerd zijn met de nuldoorgang van de sinus en waarvan u het verschijníngsmoment continu kunt verschuiven over de volledige halve periode van het signaal. Hiervoor zijn diverse praktische oplossingen verzonnen, van zeer eenvoudige tot zeer ingewikkelde.

De eenvoudigste schakeling
De eenvoudigste schakeling die het principe van de fase-aansnijding in de praktijk brengt, is getekend in onderstaande figuur. Stel dat bij het inschakelen de netspanning begint met een positief gerichte halve sinus. De thyristor D1 is nog niet open en via de lamp L1 stijgt de spanning op de anode van de thyristor. Tegelijkertijd gaat er via R1 en R2 een stroom lopen die condensator C1 begint op te laden. Op een gegeven moment is de condensatorspanning zo ver gestegen, dat de stroom die in de gate gaan lopen groot genoeg is om het onderdeel te ontsteken. Op dat moment gaat de thyristor open. De positieve sinushelft op de anode van de thyristor is dan al gedeeltelijk voorbij. Stelt u de potentiometer R2 bijvoorbeeld op zijn middelste stand in, dan is de positieve sinushelft al half voorbij voordat de thyristor open gaat. De lamp krijgt ook slechts stroom gedurende de helft van de positieve sinushelft en zal daarom ook maar zwak branden. Gedurende de negatieve sinushelft kan de thyristor niet open gaan (want het is tenslotte een gelijkrichter). Bij de nuldoorgang van de wisselspanning daalt de stroom door de thyristor tot nul, met andere woorden, de thyristor dooft. Pas tijdens de volgende positieve sinushelft kan de thyristor weer open gaan.
Stelt u R2 op minimale weerstand in, dan is C1 zeer snel opgeladen en zal de thyristor in het begin van de positieve sinushelft ontsteken. Bij maximale weerstand van R2 wordt de oplading van C1 zodanig vertraagd dat de thyristor pas op het allerlaatste stukje van de sinushelft ontsteekt, de lamp zal zo goed als niet branden.

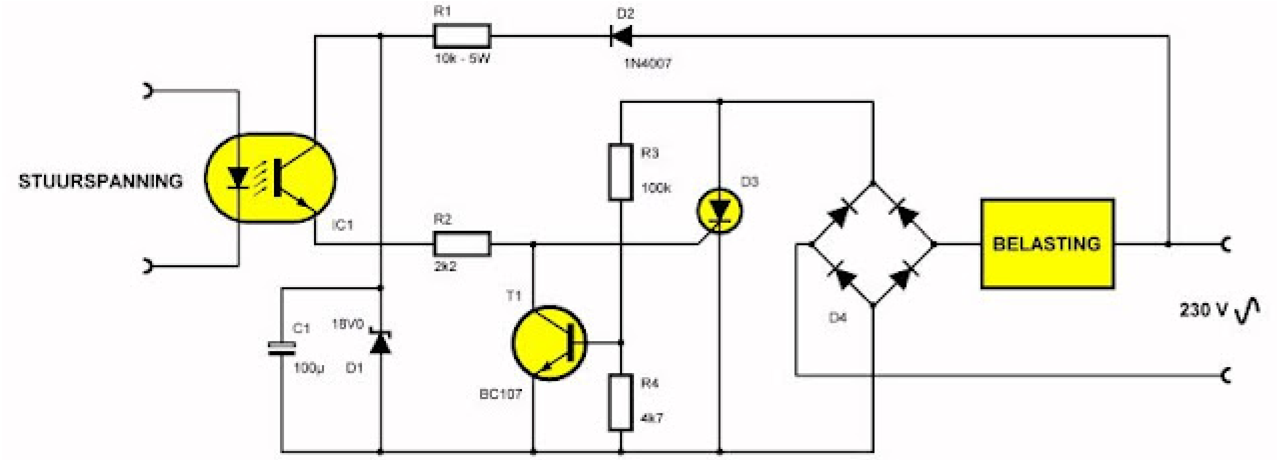


Fase-aansnijding met een bruggelijkrichter
Een nadeel van de beschreven schakeling is de gelijkrichtende werking. Daarom worden de negatief gerichte sinushelften niet doorgelaten en de lamp kan slechts van 0 % tot 50 % van zijn maximale intensiteit worden geregeld. Dit nadeel kan worden ondervangen door de netspanning eerst dubbelfasig gelijk te richten. Dat betekent dat u de negatieve sinushelften naar boven omklapt, waardoor zij ook positief worden. Dit is aanschouwelijk voorgesteld in onderstaande figuur. Met deze schakeling is het mogelijk de lamp van 0 % tot 100 % van zijn helderheid te regelen.



Fase-aansnij besturing van een thyristor met bruggelijkrichter. (© 2018 Jos Verstraten)

Thyristoren inschakelen bij de nuldoorgang van de netspanning
Als u een thyristor met bruggelijkrichter alleen gebruikt voor het in- en uitschakelen van een belasting die gevoed wordt uit de netspanning kunt u er beter voor zorgen dat de thyristor alleen kan inschakelen net na de nuldoorgang van de netspanning. De stroom door de belasting schakelt dan niet opeens van nul naar maximum, zoals bij fase-aansnij besturing, maar komt geleidelijk met de netspanning op. Dit scheelt een heleboel stoorsignalen die de plotseling opkomende stroom veroorzaakt.
In onderstaande figuur is een eenvoudige schakeling getekend, waarbij een thyristor wordt ontstoken door een gelijkspanning via een optische koppelaar IC1. De foto-transistor uit deze koppelaar wordt gevoed uit een gestabiliseerde en afgevlakte gelijkspanning. Deze voedingsspanning wordt opgewekt door de gelijkrichtdiode D2, de weerstand R1, de zenerdiode D1 en de elco C1. Tussen de emitter van de transistor en de gate van de thyristor is een extra schakeltrap opgenomen. De basis van T1 wordt via de weerstanden R3 en R4 gestuurd uit de gelijkgerichte, maar niet afgevlakte netspanning.
Het gevolg is dat deze transistor gedurende het grootste deel van de periode van de netspanning geleidt. Alleen als de netspanning door de nul gaat zal de transistor even sperren. De kortsluiting tussen de gate van de thyristor en de massa wordt opgeheven en de thyristor ontsteekt. Dit natuurlijk in de veronderstelling dat de optische koppelaar gestuurd wordt en de foto-transistor geleidt!
Op deze eenvoudige manier kunt u er voor zorgen dat de thyristor alleen kan beginnen met geleiden op het moment dat de sinus van de netspanning aan een nieuwe halve periode begint. De belasting wordt zonder grote stroompieken met de netspanning verbonden en de schakeling veroorzaakt geen storingen op het net.



Het ontsteken van een thyristor bij de nuldoorgang van de netspanning. (© 2018 Jos Verstraten)

Ontstoren!

Absoluut noodzakelijk bij fase-aansnijding
Een artikel over de werking van thyristoren is niet volledig zonder aandacht te besteden aan de noodzakelijke ontstoortechnieken. Zoals reeds geschreven ontstaan er in schakelingen die niet gesynchroniseerd zijn op de nuldoorgang van het net (dus per definitie in iedere dimmer) grote, snel opkomende stromen. De steile voorflanken van deze stroompulsen bevatten vele hogere harmonischen zodat u in de schakeling, die in principe maar op 50 Hz werkt, toch heel wat hoge frequenties kunt aantreffen. Die hoogfrequente signalen zitten voornamelijk op de verbindingsdraden tussen de thyristor en belasting. In de praktijk zijn die vaak tientallen meter lang, zodat deze draden werkelijk uitstekende zendantennes zijn en de hoogfrequente elektromagnetische golven rijkelijk over de omgeving sproeien.

Wees verantwoordelijk voor uw omgeving!
Nu wordt tegenwoordig vaak opgemerkt dat die hoogfrequente stoorvelden toch geen problemen geven, omdat iedereen een kabelaansluiting heeft en de afgeschermde coaxkabels toch niet gevoelig zijn voor de stoorvelden die door thyristor-schakelingen worden gegenereerd. Dat kan dan wel waar wezen, maar wat men maar al te vaak vergeet is dat niet alleen FM- en TV-ontvangst gestoord kan worden door niet ontstoorde dimmers. Wat te denken van zendamateurs in de buurt, mensen die als hobby satelliet-weerkaarten ontvangen of amateurs die experimenteren met packet-radio? Die hebben géén kabel ter beschikking en moeten de vaak zeer kleine zendsignaaltjes met antennes uit de lucht halen. Als er dan ergens in de buurt een niet ontstoorde dimmer lustig HF-energie staat uit te stralen kan dat erg frustrerend zijn.
Kortom: als u fase-aansnij schakelingen met thyristoren ontwerpt en bouwt zonder deze schakelingen volgens de regels der kunst te ontstoren bent u zeer asociaal bezig!